

**PENGOLAHAN *p*-NITROFENOL DALAM SISTEM  
REAKTOR KELOMPOK BERTURUTAN (SBR)**

Oleh

LOO YOOK MOI

**Tesis yang diserahkan untuk  
memenuhi keperluan bagi Ijazah  
Sarjana Sains 2007**

## **PENGHARGAAN**

Terlebih dahulu, Saya ingin mengambil kesempatan ini untuk meluahkan ribuan penghargaan kepada penyelia saya, iaitu, penyelia utama saya, Prof. Madya Seng Chye Eng dan penyelia kedua saya, Prof. Lim Poh Eng. Terima kasih atas segala bimbingan dan sokongan dari segi mental dan kewangan dalam menjayakan penyelidikan ini.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Pusat Pengajian Sains Kimia serta Institusi Pengajian Siswazah yang telah memberi sokongan kewangan dan tawaran biasiswa kepada saya untuk menjalani penyelidikan ini.

Di samping itu, saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada ahli keluarga yang saya sayangi ~ nenek, ibu bapa, adik-beradik dan Kwan Kok Kheen atas segala sokongan dan galakan yang diberikan kepada saya sekian lama ini.

Ahkir sekali, saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Encik Chuah, Encik Chee, Encik Yee dan Encik Kantha serta rakan-rakan seperjuangan saya dalam makmal. Segala bantuan dan sokongan daripada mereka di sepanjang penyelidikan ini amat saya hargai dan kenangi.

## KANDUNGAN

PERKARA	MUKA SURAT
Penghargaan	ii
Kandungan	iii
Senarai Jadual	xi
Senarai Rajah	xiii
Senarai Gambar	xviii
Tatanama	xix
Abstrak	xxi
Abstract	xxiii
<b>1.0    PENGENALAN</b>	
1.1    Bahan Pencemar Domestik Dan Industri	1
1.1.1    Sumber Pencemar Organik	2
1.1.2    Sumber Dan Kesan Pencemaran Sebatian Nitrofenol	3
1.2    Kaedah Penyingkiran <i>p</i> -Nitrofenol (PNP)	3
1.2.1    Penggunaan Karbon Teraktif Dalam Pengolahan	
Air Buangan PNP	5
1.2.1.1 Karbon Teraktif Komersial	6
1.2.1.2 Karbon Teraktif Daripada Bahan Buangan	
Pertanian	8
1.3    Sistem Enapan Teraktif	12
1.4    Sistem Reaktor Kelompok Berturutan (SBR)	13
1.4.1    Perkembangan Sistem SBR	14
1.4.2    Pengoperasian Sistem SBR	16
1.4.3    Kelebihan Dan Kelemahan Sistem SBR	18

1.5	Latar Belakang Tentang Pengolahan Sebatian Fenolik	
	Berlangkah SBR	19
1.6	Proses Biopenguraian	20
1.6.1	Mikroorganisma Terlibat Dalam Proses	
	Biopenguraian	20
1.6.2	Proses Nitrifikasi Dalam Enapan Teraktif	22
1.6.3	Sumber Dan Peranan Karbon Organik Terhadap Enapan	23
1.7	Proses Penjerapan	25
1.7.1	Model Isoterma Penjerapan	25
	1.7.1.1 Model Langmuir	25
	1.7.1.2 Model Freundlich	26
1.7.2	Enapan Teraktif Terlibat Dalam Proses Penjerapan	27
1.7.3	Proses Bergabung Penjerapan Dan Biopenguraian	28
	1.7.3.1 Kebaikan Proses Bergabung Penjerapan Dan	
	Biopenguraian	29
1.8	Proses Pengolahan Serbuk Karbon Teraktif (PACT)	30
1.9	Kajian Kinetik	31
1.9.1	Kinetik Penyingkiran COD	32
1.9.2	Kinetik Penyingkiran PNP	32
	1.9.2.1 Kinetik Tertib Pertama	32
	1.9.2.2 Persamaan Haldane	33
1.10	Objektif Penyelidikan	33
<b>2.0</b>	<b>EKSPERIMENTAL</b>	<b>35</b>
2.1	Reaktor Kelompok Berturutan (SBR)	35
2.1.1	Penyediaan SBR	35

2.1.2	Penyediaan Air Buangan Sintetik Dan Larutan Stok	
	<i>p</i> -Nitrofenol (PNP)	35
2.1.3	Mod Operasi	38
2.1.4	Fasa Operasi	39
2.2	Penyediaan Bahan Penjerap	43
2.2.1	Penyediaan Sekam Padi Teraktif Secara Pembakaran (RHA)	43
2.2.2	Penyediaan Bahan Penjerap Biojisim	43
2.2.3	Penyediaan Bahan Penjerap Serbuk karbon Teraktif (PAC)	44
2.3	Pencirian Serbuk Karbon Teraktif (PAC), Sekam Padi Teraktif (RHA) Dan Biojisim	44
2.3.1	Luas Permukaan BET	44
2.3.2	Analisis Termogravimetri (TGA)	44
2.3.3	Kandungan Karbon, Hidrogen Dan Nitrogen	44
2.3.4	pH Bahan Penjerap	44
2.3.5	Analisis Infra-Merah (IR)	45
2.3.6	Analisis Mikroskopi Elektron Pengimbas (SEM)	45
2.4	Kajian Penjerapan	45
2.4.1	Penyediaan Larutan Stok PNP	45
2.4.2	Kajian Masa Sentuhan	46
2.4.3	Kajian Isoterma Penjerapan	47
2.5	Penentuan Parameter Prestasi SBR	48
2.5.1	Isipadu Pepejal Termendap (SV <sub>30</sub> )	48
2.5.2	Kepekatan Pepejal Terampai Campuran Reaktor (MLSS)	48

2.5.3	Kepekatan Pepejal Terampai Meruap Campuran Reaktor (MLVSS)	49
2.5.4	Indeks Isipadu Enapan (SVI)	49
2.5.5	Kepekatan MLBSS Dan MLCSS	50
2.5.6	Penentuan Kualiti Efluen	51
	2.5.6.1 Kepekatan PNP Dalam Efluen ( $\text{PNP}_{\text{ef}}$ )	51
	2.5.6.2 Kepekatan COD Dalam Efluen ( $\text{COD}_{\text{ef}}$ )	52
2.6	Kajian Profil	52
2.6.1	Kepekatan PNP	52
2.6.2	Kepekatan COD	53
2.6.3	Kepekatan Spesies Nitrogen	53
2.6.4	Kepekatan Oksigen Terlarut (DO)	54
2.6.5	Perubahan pH	54
2.7	Kajian Laluan Biopenguraian PNP Secara Kualitatif	55
2.7.1	Penyediaan Larutan Piawai Dan Sampel	55
2.7.2	Analisis Kromatografi Gas-Spektrometer Jisim (GC-MS)	55
2.8	Kajian Kadar Spesifik Pengambilan Oksigen (SOUR)	56
2.8.1	Kesan Kepekatan Larutan PNP, <i>p</i> -Benzokuinon Dan 4NCA Terhadap Biojisim	56
2.8.2	Kesan Penambahan PAC Terhadap Biojisim Yang Terdedah Kepada Larutan PNP, <i>p</i> -Benzokuinon Dan 4NCA	57
<b>3.0</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	<b>59</b>
3.1	Pencirian Serbuk Karbon Teraktif (PAC), Sekam Padi Teraktif (RHA) Dan Biojisim	59

3.1.1	Analisis Termogravimetri (TGA)	59
3.1.2	Analisis Infra-Merah (IR)	63
3.1.3	Luas Permukaan BET	66
3.1.4	Kandungan Karbon, Hidrogen Dan Nitrogen	66
3.1.5	pH Bahan Penjerap	68
3.1.6	Analisis Mikroskopi Elektron Pengimbas (SEM)	68
3.2	Kajian Penjerapan	74
3.2.1	Kajian Masa Sentuhan	74
3.2.2	Isoterma Penjerapan	76
	3.2.2.1 Model Langmuir	76
	3.2.2.2 Model Freundlich	79
	3.2.2.3 Kesan pH	82
3.3	Kajian Laluan Biopenguraian PNP Secara Kualitatif	87
3.4	Kajian SOUR Terhadap Biojisim	96
3.4.1	Kesan Kepekatan Larutan PNP, <i>p</i> -Benzokuinon Dan 4NCA Terhadap Biojisim	96
	3.4.1.1 Kesan Kepekatan Larutan PNP	96
	3.4.1.2 Kesan Kepekatan Larutan <i>p</i> -Benzokuinon Dan 4NCA	98
3.4.2	Kesan Penambahan PAC Terhadap Biojisim Yang Terdedah Kepada Larutan PNP, <i>p</i> -Benzokuinon Dan 4NCA	100
	3.4.2.1 Kesan Penambahan PAC Terhadap Biojisim Yang Terdedah Kepada Larutan PNP	100

3.4.2.2	Kesan Penambahan PAC Terhadap Biojisim Yang Terdedah Kepada Larutan <i>p</i> -Benzokuinon Dan 4NCA	102
3.5	Penilaian Prestasi Sistem SBR	105
3.5.1	Penilaian Parameter Prestasi Harian	106
3.5.1.1	Parameter SVI Dan $SV_{30}$	106
3.5.1.2	Parameter MLSS Dan MLVSS	110
3.5.1.3	Kepekatan COD Dalam Efluen ( $COD_{ef}$ )	113
3.5.1.4	Kepekatan PNP Dalam Efluen ( $PNP_{ef}$ )	117
3.5.2	Penilaian Profil DO, COD Dan PNP	120
3.5.2.1	Profil DO	121
3.5.2.2	Profil COD	124
3.5.2.3	Profil PNP	128
3.5.2.4	Mekanisme Biopenguraian PNP	132
3.5.3	Perbandingan Prestasi Di Antara Sistem	136
3.6	Penilaian Proses Bergabung Penjerapan Dan Biopenguraian Dalam Sistem SBR	139
3.6.1	Reaktor $NP_{PAC}$	139
3.6.1.1	Penilaian Parameter Prestasi Harian	140
3.6.1.2	Penilaian Profil DO, COD Dan PNP	146
3.6.2	Reaktor $NR_{RHA}$	152
3.6.2.1	Penilaian Parameter Prestasi Harian	152
3.6.2.2	Penilaian Profil DO, COD Dan PNP	155
3.7	Kajian Kinetik	160
3.7.1	Reaktor NC	160



3.7.2	Reaktor NP	163
<b>4.0</b>	<b>KESIMPULAN</b>	<b>169</b>
4.1	Kajian Penjerapan	169
4.2	Kajian Laluan Biopenguraian PNP Secara Kualitatif	170
4.3	Kajian SOUR Terhadap Biojisim	170
4.3.1	Kesan Kepekatan Larutan PNP, <i>p</i> -Benzokuinon Dan 4NCA Terhadap Biojisim	170
4.3.2	Kesan Penambahan PAC Terhadap Biojisim Yang Terdedah Kepada Larutan PNP, <i>p</i> -Benzokuinon Dan 4NCA	171
4.4	Penilaian Prestasi Sistem SBR	171
4.4.1	Reaktor NC	171
4.4.2	Reaktor NP Dan NR	172
4.4.3	Perbandingan Prestasi Di Antara Sistem	172
4.5	Penilaian Proses Bergabung Penjerapan Dan Biopenguraian Dalam Sistem SBR	173
4.5.1	Reaktor NP <sub>PAC</sub>	173
4.5.2	Reaktor NR <sub>RHA</sub>	173
4.6	Kajian Kinetik	174
4.6.1	Reaktor NC	174
4.6.2	Reaktor NP	175
4.7	Cadangan-cadangan Penyelidikan Lanjutan	176
	<b>RUJUKAN</b>	<b>177</b>
	<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	
Lampiran 1:	Kepekatan Pepejal Terampai Campuran Reaktor (MLSS)	183

Lampiran 2: Penentuan Tuntutan Oksigen Kimia (COD)	
[5220 C, APHA (1998)]	184
Lampiran 3: Penentuan Kepekatan Spesies Nitrogen	187
Lampiran 4: Kajian Penjerapan	191
Lampiran 5: Kajian SOUR	193
Lampiran 6: Penilaian Parameter Prestasi Harian	195
Lampiran 7: Penilaian Profil DO, COD Dan PNP Pada Pelbagai Kepekatan PNP Dalam Influen	207
Lampiran 8: Penilaian Profil Kepekatan Spesies Nitrogen (mg/L) Pada Pelbagai Kepekatan PNP Dalam Influen	212
Lampiran 9: Penilaian Proses Bergabung Penjerapan Dan Biopenguraian Dalam Sistem SBR- Reaktor NP <sub>PAC</sub>	215
Lampiran 10: Penilaian Proses Bergabung Penjerapan Dan Biopenguraian Dalam Sistem SBR-Reaktor NR <sub>RHA</sub>	221
Lampiran 11: Parameter Kinetik Penyingkiran PNP Bagi Reaktor NC Pada Pelbagai Kepekatan PNP	225
Lampiran 12: Kajian Kinetik Bagi Reaktor NC	226
Lampiran 13: Kajian Kinetik Bagi Reaktor NP	227

## SENARAI JADUAL

			Muka Surat
Jadual 1.1	:	Penggunaan karbon teraktif dalam pengolahan air buangan fenolik	7
Jadual 1.2	:	Komposisi sekam padi	10
Jadual 1.3	:	Komposisi kimia dalam abu mineral	10
Jadual 2.1	:	Komposisi air buangan sintetik	37
Jadual 2.2	:	Penggantian baktopepton dan sukrosa dengan PNP dalam air buangan sintetik	41
Jadual 3.1	:	Luas permukaan BET bagi RRH, RHA dan PAC	67
Jadual 3.2	:	Peratusan kandungan karbon, hidrogen dan nitrogen dalam RRH, RHA dan PAC	67
Jadual 3.3	:	Parameter Langmuir	78
Jadual 3.4	:	Parameter Freundlich	81
Jadual 3.5	:	Kesan pH terhadap parameter Langmuir	85
Jadual 3.6	:	Kesan pH terhadap Parameter Freundlich	85
Jadual 3.7	:	Kecekapan penyingkiran COD semasa langkah TINDAK BALAS bagi reaktor NC, NP dan NR pada pelbagai kepekatan PNP dalam influen	125
Jadual 3.8	:	Kecekapan penyingkiran PNP semasa langkah TINDAK BALAS bagi reaktor NC, NP dan NR pada pelbagai kepekatan PNP dalam influen	131
Jadual 3.9	:	Peringkat pengolahan bagi reaktor NP <sub>PAC</sub>	141

Jadual 3.10	:	Kecekapan penyingkiran COD dan PNP semasa langkah TINDAK BALAS bagi reaktor $NP_{PAC}$ pada pelbagai peringkat pengolahan	150
Jadual 3.11	:	Kecekapan penyingkiran COD dan PNP semasa langkah TINDAK BALAS bagi reaktor $NR_{RHA}$ selepas penambahan RHA	158
Jadual 3.12	:	Pemalar kadar penyingkiran COD, $k_{COD}$ dan pemalar kadar penyingkiran PNP, $k_{PNP}$ bagi reaktor NC	162
Jadual 3.13	:	Pemalar kadar penyingkiran COD, $k_{COD}$ dan pemalar kadar penyingkiran PNP, $k_{PNP}$ bagi reaktor NP sebelum penambahan PAC	167
Jadual 3.14	:	Pemalar kadar penyingkiran COD, $k_{COD}$ dan Pemalar kadar penyingkiran PNP, $k_{PNP}$ bagi reaktor $NP_{PAC}$ selepas penambahan PAC	167

## SENARAI RAJAH

	Muka Surat
Rajah 1.1 : Langkah pengoperasian sistem SBR	17
Rajah 2.1 : Skematik reaktor SBR	36
Rajah 3.1 : Termogram TGA bagi (a) RRH, (b) RHA dan (c) PAC	60
Rajah 3.2 : Spektrum IR bagi (a) RRH, (b) RHA dan (c) PAC	64
Rajah 3.3 : Masa sentuhan bagi penjerapan PNP ke atas (a) PAC, (b) RHA dan (c) biojisim	75
Rajah 3.4 : Plot Langmuir bagi penjerapan PNP pada (a) PAC, (b) RHA dan (c) biojisim	77
Rajah 3.5 : Plot Freundlich bagi penjerapan PNP pada (a) PAC dan (b) RHA	80
Rajah 3.6 : Plot Langmuir bagi penjerapan PNP pada (a) PAC dan (b) RHA pada nilai pH 4, 5 dan 6	83
Rajah 3.7 : Plot Freundlich bagi penjerapan PNP pada (a) PAC dan (b) RHA pada nilai pH 4, 5 dan 6	84
Rajah 3.8 : Kromatogram larutan piawai bagi (a) PNP, (b) <i>p</i> -benzokuinon dan (c) 4 NCA	88
Rajah 3.9 : Kromatogram bagi sampel separa terolah	90
Rajah 3.10 : Spektrum jisim sampel separa terolah bagi puncak pada masa penahanan 22.31 min	90
Rajah 3.11 : Kromatogram bagi sampel efluen	92

Rajah 3.12	:	Kromatogram bagi sampel separa terolah dengan suntikan masuk larutan piawai <i>p</i> -benzokuinon dan 4NCA	92
Rajah 3.13	:	Laluan biopenguraian yang dicadangkan oleh (a) Spain & Gibson (1991) dan (b) Kadiyala & Spain (1998)	94
Rajah 3.14	:	Kesan kepekatan larutan PNP terhadap SOUR mikroorganisma	97
Rajah 3.15	:	Kesan kepekatan <i>p</i> -benzokuinon dan 4NCA terhadap SOUR mikroorganisma	99
Rajah 3.16	:	Kesan penambahan PAC terhadap SOUR mikroorganisma yang terdedah kepada larutan PNP yang berkepekatan 400 mg/L	101
Rajah 3.17	:	Kesan penambahan PAC terhadap SOUR mikroorganisma yang terdedah kepada larutan yang masing-masing mengandungi 5 mg/L <i>p</i> -benzokuinon dan 70 mg/L 4NCA	103
Rajah 3.18	:	Perubahan SVI dan SV <sub>30</sub> bagi reaktor (a) NC, (b) NP dan (c) NR mengikut masa operasi	107
Rajah 3.19	:	Perubahan MLSS dan MLVSS bagi reaktor (a) NC, (b) NP dan (c) NR mengikut masa operasi	111
Rajah 3.20	:	Perubahan kepekatan COD <sub>ef</sub> bagi reaktor (a) NC, (b) NP dan (c) NR mengikut masa operasi	114
Rajah 3.21	:	Perubahan kepekatan PNP <sub>ef</sub> bagi reaktor (a) NC, (b) NP dan (c) NR mengikut masa operasi	118

Rajah 3.22	:	Profil DO semasa langkah TINDAK BALAS bagi reaktor (a) NC, (b) NP dan (c) NR pada pelbagai kepekatan PNP dalam influen	122
Rajah 3.23	:	Profil COD semasa langkah TINDAK BALAS bagi reaktor (a) NC, (b) NP dan (c) NR pada pelbagai kepekatan PNP dalam influen	126
Rajah 3.24	:	Profil PNP semasa langkah TINDAK BALAS bagi reaktor (a) NC, (b) NP dan (c) NR pada pelbagai kepekatan PNP dalam influen	129
Rajah 3.25	:	Profil kepekatan $\text{NO}_2^-$ -N bagi reaktor NC pada pelbagai kepekatan PNP dalam influen	133
Rajah 3.26	:	Profil kepekatan AN, $\text{NO}_2^-$ -N dan $\text{NO}_3^-$ -N bagi reaktor NC sebelum penambahan PNP	135
Rajah 3.27	:	Profil kepekatan AN bagi reaktor NC pada pelbagai kepekatan PNP dalam influen	135
Rajah 3.28	:	Perubahan (a) SVI dan (b) MLSS mengikut masa operasi bagi reaktor $\text{NP}_{\text{PAC}}$ pada pelbagai peringkat pengolahan	142
Rajah 3.29	:	Perubahan (a) $\text{COD}_{\text{ef}}$ dan (b) $\text{PNP}_{\text{ef}}$ mengikut masa operasi bagi reaktor $\text{NP}_{\text{PAC}}$ pada pelbagai peringkat pengolahan	144
Rajah 3.30	:	Profil DO semasa langkah TINDAK BALAS bagi reaktor $\text{NP}_{\text{PAC}}$ pada pelbagai peringkat pengolahan	147

Rajah 3.31	:	Profil COD semasa langkah TINDAK BALAS bagi reaktor NP <sub>PAC</sub> pada (a) peringkat tanpa PAC sehingga peringkat III dan (b) peringkat IV sehingga VII	148
Rajah 3.32	:	Profil PNP semasa langkah TINDAK BALAS bagi reaktor NP <sub>PAC</sub> pada (a) peringkat tanpa PAC sehingga peringkat III dan (b) peringkat IV sehingga VII	149
Rajah 3.33	:	Perubahan (a) SVI dan (b) MLSS mengikut masa operasi bagi reaktor NR <sub>RHA</sub> pada kepekatan PNP dalam influen 200 mg/L	153
Rajah 3.34	:	Perubahan (a) COD <sub>ef</sub> dan (b) PNP <sub>ef</sub> mengikut masa operasi bagi reaktor NR <sub>RHA</sub> pada kepekatan PNP dalam influen 200 mg/L	154
Rajah 3.35	:	Profil DO semasa langkah TINDAK BALAS bagi reaktor NR <sub>RHA</sub> selepas penambahan RHA	156
Rajah 3.36	:	Profil COD semasa langkah TINDAK BALAS bagi reaktor NR <sub>RHA</sub> selepas penambahan RHA	156
Rajah 3.37	:	Profil PNP semasa langkah TINDAK BALAS bagi reaktor NR <sub>RHA</sub> selepas penambahan RHA	157
Rajah 3.38	:	Plot ln [COD] melawan masa bagi reaktor NC	161
Rajah 3.39	:	Plot ln [PNP] melawan masa bagi reaktor NC	161
Rajah 3.40	:	Plot ln [COD] melawan masa (a) sebelum penambahan PAC dan (b) selepas penambahan PAC bagi reaktor NP	165



Rajah 3.41 : Plot  $\ln [PNP]$  melawan masa (a) sebelum  
penambahan PAC dan (b) selepas penambahan  
PAC bagi reaktor NP

166

## SENARAI GAMBAR

	Muka Surat
Gambar 3.1 : Enapan pada Fasa Mantap dengan kuasa pembesaran (a) x 3.00 ribu dan (b) x 5.00 ribu	69
Gambar 3.2 : Enapan pada Fasa Penambahan PNP dengan kuasa pembesaran (a) x 2.00 ribu dan (b) x 10.00 ribu	70
Gambar 3.3 : Enapan pada Fasa Penambahan Bahan Penjerap (reaktor NP) dengan kuasa pembesaran (a) x 300 dan (b) x 10.00 ribu	72
Gambar 3.4 : Enapan pada Fasa Penambahan Bahan Penjerap (reaktor NR) dengan kuasa pembesaran (a) x 410 dan (b) x 5.00 ribu	73

## TATANAMA

AN	Nitrogen ammoniakal
COD	Tuntutan oksigen kimia
COD <sub>ef</sub>	Tuntutan oksigen kimia dalam efluen
DO	Oksigen terlarut
GC-MS	Kromatografi gas-spektrometer jisim
k <sub>COD</sub>	Pemalar kadar penyingkiran COD
k <sub>I</sub>	Pemalar perencatan
k <sub>PNP</sub>	Pemalar kadar penyingkiran PNP
k <sub>s</sub>	Pemalar ketepuan
MLSS	Pepejal terampai campuran reaktor
MLBSS	Pepejal terampai biologi campuran reaktor
MLCSS	Pepejal terampai karbon teraktif campuran reaktor
MLNVSS	Pepejal terampai tanpa meruap campuran reaktor
MLVSS	Pepejal terampai meruap campuran reaktor
4NCA	4-Nitrokatekol
NC	Reaktor yang mengolah air buangan PNP tanpa penambahan bahan penjerap
NP	Reaktor yang mengolah air buangan PNP sebelum penambahan PAC
NR	Reaktor yang mengolah air buangan PNP sebelum penambahan RHA
NP <sub>PAC</sub>	Reaktor yang mengolah air buangan PNP dengan penambahan PAC

$NR_{RHA}$	Reaktor yang mengolah air buangan PNP dengan penambahan RHA
PAC	Serbuk karbon teraktif
PACT	Proses pengolahan serbuk karbon teraktif (PAC) dan biopenguraian
PNP	<i>p</i> -Nitrofenol
$PNP_{ef}$	<i>p</i> -Nitrofenol dalam efluen
RHA	Sekam padi teraktif
RRH	Sekam padi mentah
SBR	Reaktor kelompok berturutan
SEM	Mikroskopi elektron pengimbas
SOUR	Kadar spesifik pengambilan oksigen
$SV_{30}$	Isipadu pepejal termendap
SVI	Indeks isipadu enapan
TGA	Analisis termogravimetri

## **PENGOLAHAN *p*-NITROFENOL DALAM SISTEM REAKTOR KELOMPOK BERTURUTAN (SBR)**

### **ABSTRAK**

Penyelidikan ini bertujuan untuk mengkaji pengolahan air buangan sintetik yang mengandung *p*-nitrofenol (PNP) di bawah operasi reaktor kelompok berturutan (SBR) tanpa dan dengan kehadiran bahan penjerap. Tiga buah reaktor SBR, NC (reaktor yang mengolah air buangan PNP tanpa penambahan bahan penjerap), NP (reaktor yang mengolah air buangan PNP sebelum penambahan serbuk karbon teraktif) dan NR (reaktor yang mengolah air buangan PNP sebelum penambahan sekam padi teraktif) dioperasikan mengikut langkah operasi PENGISIAN, TINDAK BALAS, PEMENDAPAN, PENGELUARAN dan REHAT dalam nisbah masa 2:8:1:0.75:0.25 dengan 12 jam per kitaran. Serbuk karbon teraktif (PAC) dan sekam padi teraktif (RHA) masing-masing ditambah ke dalam reaktor NP dan NR demi mengkaji keberkesanan proses bergabung penjerapan dan biopenguraian dalam meredakan ketoksikan PNP di samping mempertingkatkan kecekapan pengolahan sistem. Manakala, baktopepton dan sukrosa digantikan dengan PNP secara berperingkat sebagai sumber karbon untuk reaktor NC tanpa penambahan bahan penjerap.

Kajian penjerapan menunjukkan penjerapan PNP pada PAC dapat mematuhi kedua-dua model Langmuir dan Freundlich dengan baik, sedangkan penjerapan PNP pada RHA lebih mematuhi model Langmuir daripada model Freundlich. Berdasarkan kepada model Langmuir, PAC menunjukkan kapasiti penjerapan yang paling tinggi jika dibandingkan dengan RHA dan biojisim. Kapasiti penjerapan PNP pada PAC dan RHA menunjukkan corak menurun mengikut peningkatan pH.

Kajian Kadar Spesifik Pengambilan Oksigen (SOUR) menunjukkan penurunan nilai SOUR masing-masing sebanyak 57, 84 dan 10 % apabila kepekatan PNP, *p*-benzokuinon dan 4-nitrokatekol masing-masing mencapai 500, 20 dan 70 mg/L. Dengan kehadiran 1.2 g PAC, ketoksikan larutan PNP dan *p*-benzokuinon terhadap mikroorganisma dapat diredakan melalui peningkatan nilai SOUR masing-masing sebanyak 158 dan 63 %.

Secara keseluruhannya, prestasi penyingkiran COD bagi reaktor NP dan NR adalah lebih cekap jika dibandingkan dengan reaktor NC. Sebaliknya, reaktor NC pula lebih cekap dalam penyingkiran PNP berbanding dengan reaktor NP dan NR. Namun, peningkatan kepekatan PNP dalam influen secara berperingkat sehingga ke 200 mg/L menyebabkan prestasi sistem merosot dan kepekatan COD<sub>ef</sub> dan PNP<sub>ef</sub> bagi reaktor NC, NP dan NR masing-masing > 300 dan > 90 mg/L. Dengan penambahan 1.0 g PAC per kitaran ke dalam reaktor NP<sub>PAC</sub>, kepekatan COD<sub>ef</sub> dan PNP<sub>ef</sub> masing-masing menurun ke < 100 dan < 1 mg/L semasa kepekatan PNP dalam influen masing-masing ditingkatkan ke 250 dan 300 mg/L. Penambahan RHA dalam sistem juga mampu memperbaiki proses pemendapan dalam reaktor NR<sub>RHA</sub>. Walau bagaimanapun, RHA kurang berkesan dalam memulihkan prestasi sistem yang terjejas akibat daripada beban PNP yang tinggi.

Dalam kajian kinetik, kadar penyingkiran COD dan PNP dapat dihuraikan berdasarkan Kinetik tertib pertama. Penurunan nilai pemalar kadar penyingkiran COD,  $k_{COD}$  dan pemalar kadar penyingkiran PNP,  $k_{PNP}$  diperhatikan setelah kepekatan PNP dalam influen ditingkatkan secara berperingkat. Tetapi, kadar penyingkiran COD dan PNP masing-masing telah ditingkatkan daripada  $1.0 \times 10^{-2}$  kepada  $7.1 \times 10^{-2} \text{ minit}^{-1}$  dan  $1.0 \times 10^{-3}$  kepada  $3.0 \times 10^{-3} \text{ minit}^{-1}$  selepas penambahan 1.0 g PAC per kitaran.

## **TREATMENT OF *p*-NITROPHENOL IN SEQUENCING BATCH REACTOR SYSTEM (SBR)**

### **ABSTRACT**

The objective of this research was to study the treatment of synthetic wastewater containing *p*-nitrophenol (PNP) using sequencing batch reactor (SBR) with and without the addition of adsorbent. Three SBR reactors, NC (reactor without the addition of adsorbent), NP (reactor before the addition of powdered activated carbon) and NR (reactor before the addition of activated rice husk), were operated with FILL, REACT, SETTLE, DRAW and IDLE periods in the time ratio of 2:8:1:0.75:0.25 for a cycle time of 12 h. Powdered activated carbon (PAC) and activated rice husk (RHA) were added to reactors NP and NR, respectively, to study the role of combined adsorption and biodegradation process in reducing PNP toxicity and enhancing the treatment efficiency whilst peptone and sucrose were slowly replaced by PNP as carbon source for reactor NC without addition of adsorbent.

The adsorption data of PNP on PAC were able to fit both the Langmuir and Freundlich models, while the PNP adsorption on RHA fitted the Langmuir model much better than the Freundlich model. Based on the Langmuir model, PAC was shown to have the highest adsorption capacity for PNP compared to RHA and biomass. There was a reduction in adsorption capacity on PAC and RHA as the pH was increased.

The Specific Oxygen Uptake Rate (SOUR) test showed that the SOUR values were reduced by 57, 84 and 10 %, respectively, when the PNP, *p*-benzoquinone and 4-nitrocatechol concentrations were 500, 20 and 70 mg/L, respectively. In the presence of 1.2 g PAC, the toxicity of PNP and *p*-benzoquinone to the microorganisms was reduced with the increase of SOUR values by 158 and 63 %, respectively.

In general, the COD removal efficiencies for reactors NP and NR were better when compared to the reactor NC whereas the PNP removal efficiency for reactor NC was better than reactors NP and NR. However, increasing the influent PNP concentration to 200 mg/L had resulted in the deterioration of the treatment efficiency of the SBR system and the effluent COD and PNP for reactors NC, NP and NR were above 300 and 90 mg/L, respectively. With the addition of 1.0 g PAC per cycle into reactor NP<sub>PAC</sub>, the effluent COD and PNP concentrations were reduced to below 100 and 1 mg/L, respectively, when the influent PNP concentration was increased to 250 and 300 mg/L. The enhancement of the settlement process of reactor NR<sub>RHA</sub> was observed with the addition of RHA. However, the addition of RHA was not effective enough in improving the treatment efficiency of the SBRs due to the high PNP loading.

The kinetic study showed that the rates of COD and PNP removal can be described by first-order kinetics. Increasing influent PNP concentration had resulted in a reduction of the COD removal rate constant,  $k_{\text{COD}}$ , and the PNP removal rate constant,  $k_{\text{PNP}}$ . However, the rates of COD and PNP removal were increased from  $1.0 \times 10^{-2}$  to  $7.1 \times 10^{-2} \text{ minit}^{-1}$  and  $1.0 \times 10^{-3}$  to  $3.0 \times 10^{-3} \text{ minit}^{-1}$ , respectively, after the addition of 1.0 g PAC per cycle.



## **BAB 1**

### **1.0 PENGENALAN**

#### **1.1 Bahan Pencemar Domestik Dan Industri**

Pertambahan penduduk sedunia memesatkan pertumbuhan kegiatan perindustrian demi memenuhi permintaan keperluan harian contohnya makanan dan pakaian yang kian meningkat. Memang tidak dapat dinafikan bahawa pembangunan yang pesat dalam era yang baru ini membawa kesejahteraan dan kemakmuran kepada manusia. Namun, hakikat sebenar di sebalik pembangunan ialah berlakunya pencemaran alam sekitar. Perkembangan dan pertumbuhan kilang-kilang yang pesat adalah antara punca utama pencemaran di samping pembuangan sampah sarap yang tidak terkawal akibat daripada pertambahan penduduk.

Dua punca utama pencemaran alam sekitar yang dikenalpasti iaitu bahan buangan domestik dan bahan buangan industri. Di Malaysia, beban pencemaran bahan buangan domestik terus bertambah seiringan dengan proses perbandaran yang pesat. Keadaan ini berpunca daripada pelupusan najis manusia dan sampah sarap yang tidak teratur dan sistematik. Tambahan pula, kemudahan yang serba kekurangan serta kurang berkesan dalam pengolahan bahan buangan juga mendorong kepada pencemaran alam sekitar.

Pertumbuhan industri yang pesat mengakibatkan penghasilan sisa-sisa industri yang tidak dapat dielakkan. Perlupusan sisa-sisa buangan industri menjadi semakin sukar dan kompleks berikutan dengan jumlahnya yang banyak serta kepelbagaian jenisnya yang akan membawa mudarat kepada kesihatan manusia. Industri yang dikenalpasti sebagai penyumbang kepada masalah pencemaran adalah seperti industri elektronik dan semikonduktor, industri penghasilan barangan getah, industri pembuatan

ubat-ubatan, industri pembersihan dan kerja logam dan sebagainya. Oleh itu, pembinaan loji rawatan dan pelupusan sisa toksik industri merupakan penawar kepada masalah pencemaran. Namun, terdapat pihak yang tidak bertanggungjawab terus memilih sungai ataupun tanah terbiar sebagai tapak pembuangan sisa-sisa toksik industri seperti arsenik, raksa, plumbum dan kadmium.

Pelbagai pendekatan haruslah diambil tindakan demi menangani masalah pencemaran. Perlaksanaan sistem pengurusan pelupusan dan rawatan sisa-sisa buangan industri mahupun domestik yang selamat, cekap dan praktikal amat dialu-alukan.

### **1.1.1 Sumber Pencemar Organik**

Komponen utama sisa buangan domestik dan industri terdiri daripada bahan pencemar organik, bahan pencelup dan logam berat. Bahan pencemar organik toksik yang terdapat dalam efluen termasuk fenol, nitrofenol, klorofenol dan sebagainya. Bahan pencemar organik mudah dijumpai dalam air sungai, tanah dan air bawah tanah kerana bukan semua bahan organik mudah terbiourai.

Dalam pada itu, bahan organik toksik, contohnya, nitrofenol mampu bertindak sebagai sumber karbon kepada mikroorganisma. Pengoksidaan substrat primer (*growth substrates*) membekalkan tenaga dan karbon untuk pertumbuhan dan pemulihan sel (Bali & Sengul, 2002). Justeru, bahan pencemar organik yang tidak diolah bertindak sebagai substrat kepada pertumbuhan bakteria dalam air yang akan mengakibatkan kematian haiwan dan tumbuhan dalam air akibat kekurangan oksigen (Seviour & Blackall, 1999).

Kewujudan bahan organik toksik dalam air bukan sahaja mengancam keseimbangan ekosistem malahan memudaratkan kesihatan manusia.

### 1.1.2 Sumber Dan Kesan Pencemaran Sebatian Nitrofenol

Secara umumnya, kebanyakan sebatian nitrofenol termasuk *p*-nitrofenol (PNP) dibebaskan ke persekitaran melalui industri pembuatan dan pemprosesan (Bhatti *et al.*, 2002). Menurut Herterich (1991), sebatian nitrofenol dibebaskan melalui tindak balas fotokimia yang melibatkan hidrokarbon aromatik dan nitrogen oksida di udara. Sebatian ini juga boleh dijumpai dalam wap air.

Nitrofenol merupakan hidrokarbon fenolik yang digunakan secara meluas dalam bidang pemprosesan ubat-ubatan, petrokimia dan pembuatan bahan-bahan kimia (Chern & Chien, 2002). PNP merupakan bahan buangan industri yang berasaskan industri pembuatan polimer, penghasilan racun serangga, pemprosesan pencelup warna dan ubat-ubatan. Ia dibebaskan apabila digunakan sebagai bahan perantaraan dalam pembuatan parathion dan metil parathion.

Pencemaran tanah boleh berlaku hasil daripada pembuangan bahan pencemar industri yang mengandungi sebatian nitrofenol serta penggunaan racun serangga (Vozňáková *et al.*, 1996). Susulan daripada kejadian pencemaran tanah, bahan-bahan organik toksik seperti 2-nitrofenol, 4-nitrofenol, 4,6-dinitro-*o*-kresol dan 2,4-dinitro-6-*sek*-butilfenol mudah dijumpai dalam persekitaran. Oleh itu, '*Drinking Water Equivalent Level*' (DWEL) yang ditetapkan oleh '*National Drinking Water Standards and Health Criteria*' di U.S. telah mengawal kandungan PNP dalam air minuman kurang daripada 0.3 mg/L. Kehadiran PNP dalam air bukan sahaja membawa masalah kesihatan kepada manusia tetapi juga menggugat nyawa haiwan dan tumbuhan.

## 1.2 Kaedah Penyingkiran *p*-Nitrofenol (PNP)

Kajian pengolahan air buangan PNP telah menjadi minat para penyelidik memandangkan PNP merupakan bahan pencemar yang toksik. Penyingkiran PNP

melalui proses biologi telah dikaji oleh para penyelidik (Nyholm *et al.*, 1984; Spain & Gibson, 1991; Xing *et al.*, 1999; Tomei *et al.*, 2003; Tomei *et al.*, 2004; Kitagawa *et al.*, 2004; Gemini *et al.*, 2005). Banyak kajian tentang biopenguraian PNP dilaporkan dan kebanyakannya menunjukkan PNP dapat dibiourai oleh mikroorganisma sama ada kultur bakteria tulen iaitu *Moraxella sp.* (Spain & Gibson, 1991), *Rhodococcus Opacus* (Kitagawa *et al.*, 2004) dan *Rhodococcus Wratislaviensis* (Gemini *et al.*, 2005) ataupun kultur bakteria campuran (Tomei *et al.*, 2003; Tomei *et al.*, 2004). Kos yang rendah dan efektif telah membolehkan pengolahan biologi menjadi popular dan berkembang dengan pesat. Namun, pengolahan air buangan PNP secara biologi turut ada kelemahannya.

Walaupun proses pengolahan biologi banyak digunakan dalam penyingkiran air buangan PNP, tetapi proses ini kurang berkesan apabila kepekatan PNP dalam influen adalah tinggi. Oleh itu, pembangunan dan perkembangan teknologi pengolahan air buangan yang mengandungi PNP masih giat dijalankan sehingga kini, iaitu termasuk proses biopenguraian (Nyholm *et al.*, 1984; Spain & Gibson, 1991; Xing *et al.*, 1999; Tomei *et al.*, 2003; Tomei *et al.*, 2004; Kitagawa *et al.*, 2004; Gemini *et al.*, 2005), proses pengoksidaan kimia (Kiwi *et al.*, 1994) dan proses penyerapan (Chern & Chien, 2002; Haydar *et al.*, 2003; Chern & Chien, 2003).

Air buangan industri dan domestik yang mengandungi sebatian nitrofenol memang susah diolah sepenuhnya dengan hanya melalui proses biopenguraian terutamanya apabila kandungan kepekatan nitrofenol adalah tinggi. Tambahan pula, kehadiran bahan-bahan pencemar yang lain yang sukar terbiourai, contohnya, bahan pencelup, logam berat, bahan perantaraan hasil biouraian nitrofenol terus menggagalkan proses pengolahan biologi. Bahan perantaraan hasil biouraian nitrofenol adalah seperti benzokuinon, hidrokuinon, nitrokatekol dan hidroksibenzokuinon. Bahan-bahan

pencemar ini mungkin sukar terbiourai dan toksik terhadap mikroorganisma dalam enapan. Justeru, proses pra ataupun post pengolahan diiringi proses biopenguraian dilakukan demi menghasilkan efluen piawai yang selamat untuk dibuang ke dalam air penerima. Gabungan fizik-biologi, kimia-biologi ataupun fizik-kimia-biologi turut dipraktikkan dalam proses pengolahan. Di sini, proses fizik dan kimia bertindak sebagai pra-pengolahan untuk menyingkirkan bahan yang toksik dan sukar terbiourai sebelum pengolahan biologi.

Kajian yang telah dibuat oleh Lin & Cheng (2001) mengaplikasikan gabungan penggumpalan kimia (*chemical coagulation*) dan sistem reaktor kelompok berturutan (SBR) untuk mengolah air buangan domestik dengan 12 jam per kitaran. Kaedah penggumpalan kimia yang bertindak sebagai pra-pengolahan berupaya menyingkirkan 75 % COD dan menghilangkan 80 % warna daripada air buangan. Menurut Lin & Kiang (2003), gabungan fizik-kimia-biologi berjaya digunakan untuk mengolah air buangan yang mengandungi bahan buangan organik dari loji rawatan semikonduktor. Air buangan organik yang mengandungi COD setinggi 80,000 mg/L dapat disingkirkan sehingga < 100 mg/L serta menghilangkan warna daripada air buangan. Kualiti efluen terolah bukan sahaja memenuhi piawai efluen malahan boleh ditimbang untuk dikitar semula.

### **1.2.1 Penggunaan Karbon Teraktif Dalam Pengolahan Air Buangan PNP**

Air buangan yang mengandungi bahan organik toksik biasanya diolah sama ada melalui gabungan fizik-biologi ataupun kimia-biologi. Gabungan fizik-biologi melibatkan proses penjerapan sebagai pra-pengolahan diikuti dengan proses biopenguraian. Bahan pencemar dijerap ke atas bahan penjerap oleh daya tarikan yang wujud di antara mereka yang membawa kepada penjerapan fizik. Selain daripada itu,

proses penyerapan juga boleh berlaku bersama proses biopenguraian dalam sistem SBR yang dikenali sebagai gabungan penyerapan dan biopenguraian (Lim *et al.*, 2002; Lee & Lim, 2005). Bahan penyerap yang digunakan dalam proses penyerapan ialah serbuk karbon teraktif yang diaktifkan secara kimia dan fizik. Serbuk karbon teraktif daripada bahan buangan pertanian, contohnya, sekam padi, tempurung kelapa, dan tempurung kelapa sawit turut digunakan sebagai bahan penyerap bahan pencemar air buangan (Ong *et al.*, 2003). Jadual 1.1 menunjukkan penggunaan karbon teraktif dalam pengolahan air buangan fenolik (Patterson, 1975). Patterson (1975) telah mengkaji kaedah pengolahan air buangan fenolik termasuk sistem enapan teraktif dan penggunaan karbon teraktif dalam kaedah pengolahan. Jadual ini menunjukkan hasil pengolahan air buangan fenolik dengan kehadiran karbon teraktif.

#### **1.2.1.1 Karbon Teraktif Komersial**

Serbuk karbon teraktif (PAC) digunakan secara meluas dalam proses penyerapan untuk mengolah air buangan industri. Kini, beraneka jenis PAC dan karbon teraktif granular (GAC) dihasilkan secara pengaktifan kimia dan fizik. Karbon teraktif komersial biasanya diperbuat daripada bahan organik yang kaya dengan karbon tetapi dengan kandungan bahan tak organik yang rendah. Banyak kajian dilaporkan berkaitan dengan keberkesanan karbon teraktif dalam menyerap logam berat (Ong *et al.*, 2003), warna (Arslanoğlu *et al.*, 2005; Akmil-Basar *et al.*, 2005) dan sebatian organik (Karimi-Jashni & Narbaitz, 1997; Chern & Chien, 2002; Ania *et al.*, 2002; Chern & Chien, 2003; Haydar *et al.*, 2003; Lee & Lim, 2005; Sabio *et al.*, 2006; Villacañas *et al.*, 2006).

Chern & Chien (2003) melaporkan persaingan penyerapan antara asid benzoik dan *p*-nitrofenol (PNP) dalam larutan akueus ke atas karbon teraktif. Keputusan kajian menunjukkan karbon teraktif yang dikaji mempunyai afiniti yang lebih tinggi terhadap

Jadual 1.1: Penggunaan karbon teraktif dalam pengolahan air buangan fenolik  
(Patterson, 1975).

Sumber	Fenol (mg/L)		Peratusan Penyingkiran (%)
	Awal	Akhir	
Pembuatan Bahan Kimia	36	0.001	> 99
Pencelup	6.0	0.001	> 99
Bahan Kimia Organik	0.52	0.05	> 99
	0.12	0.003	> 99
	0.315	0.001	> 99
	12.8	0.001	> 99
Bahan Kimia Tak Organik	5325.0	0.25	> 99
Plastik	9.75	0.013	> 99
	8.5	0.006	> 99
	26.5	0.005	> 99
Bahan Letupan	16.6	0.023	> 99
Penyulingan Petroleum	44.0	0.001	> 99

PNP berbanding dengan asid benzoik. Sifat-sifat penjerapan PNP dan asid benzoik ke atas GAC diperhatikan. Menurut mereka, kehadiran PNP dalam larutan akueus dapat mengurangkan afiniti penjerapan asid benzoik ke atas GAC manakala kewujudan asid benzoik dalam larutan akueus kurang berkesan dalam mempengaruhi penjerapan PNP.

Karbon teraktif merupakan bahan penjerap yang unggul kerana mempunyai banyak liang-liang seni yang menyebabkannya memiliki luas permukaan yang tinggi dengan kumpulan berfungsi tertentu. Selain itu, ia berstruktur mikroporos dan mempunyai kapasiti penjerapan yang tinggi. Faktor yang mempengaruhi proses penjerapan adalah masa sentuhan antara bahan penjerap dan bahan terjerap, suhu larutan, pH larutan, ciri-ciri permukaan bahan penjerap, kepekatan bahan penjerap dan bahan terjerap serta kehadiran benda asing dalam larutan (Slejko, 1985; Chern & Chien, 2002; Akmil-Basar *et al.*, 2005). Tapak aktif pada permukaan bahan penjerap akan dijerap oleh bahan terjerap sehingga monolapisan penjerapan tercapai. Proses penjerapan berlaku berterusan sehingga satu tahap keseimbangan yang mana tiada penjerapan bersih berlaku.

#### **1.2.1.2 Karbon Teraktif Daripada Bahan Buangan Pertanian**

Kaedah-kaedah yang digunakan untuk menyingkirkan bahan pencemar dalam air buangan termasuk proses biopenguraian, resin pertukaran ion, penggumpalan kimia dan proses penjerapan. Karbon teraktif merupakan bahan penjerap yang biasa digunakan dalam proses penjerapan. Namun, kos pengitaran semula karbon teraktif terguna yang tinggi telah menggalakkan para penyelidik mencari karbon teraktif alternatif yang lebih murah, efektif dan mudah diperolehi. Penjerap lain sama ada mentah ataupun diaktifkan dikaji untuk tujuan-tujuan yang berlainan bersesuaian dengan jenis bahan terjerap yang



ingin dijerap. Ini bermakna keupayaan penjerapan bergantung kepada jenis bahan mentah yang digunakan serta cara pengaktifannya.

Kebelakangan ini, banyak kajian telah dilakukan untuk menyediakan karbon teraktif alternatif daripada bahan buangan pertanian. Bahan buangan pertanian yang berpotensi termasuk tempurung aprikot (Daifullah & Girgis, 1998), selaput biji kelapa sawit (Rengaraj *et al.*, 2002), abuk kayu (Malik, 2003), tempurung kelapa dan sekam padi. Kajian telah dibuat ke atas sekam padi sebagai pengganti karbon teraktif komersial dalam menyerap bahan pencelup (Low & Lee, 1997; Malik, 2003; Guo *et al.*, 2005; Chuah *et al.*, 2005), logam berat (Feng *et al.*, 2004; Chuah *et al.*, 2005; Kumar & Bandyopadhyay, 2006) dan bahan pencemar organik (Lee & Lim, 2003; Qi *et al.*, 2004; Akhtar *et al.*, 2006). Namun, kajian penggunaan sekam padi sebagai penyerap ke atas sebatian fenolik amat kurang jika dibandingkan dengan logam berat dan pencelup.

Sekam padi berstruktur granular dan tidak larut dalam air. Ia merupakan bahan yang sukar terbiourai. Jadual 1.2 menunjukkan komposisi utama sekam padi dan Jadual 1.3 menunjukkan komposisi kimia sekam padi dalam abu mineral (Chuah *et al.*, 2005). Sifat-sifat semulajadi serta kandungan bahan organik dalam sekam padi mentah boleh diubah melalui pengaktifan secara terma atau kimia untuk memenuhi keperluan penggunaannya. Pirolisis sekam padi dalam keadaan tanpa oksigen atau dalam keadaan terkawal menghasilkan karbon, abu serta bahan organik lain. Hasil pirolisis adalah sesuai digunakan sebagai bahan penyerap dalam pengolahan air buangan industri. Pengaktifan sekam padi boleh dilakukan melalui pengolahan dengan asid hidroklorik (HCl), asid sulfurik (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), dan asid nitrik (HNO<sub>3</sub>). Kaedah pengaktifan ini adalah bertujuan untuk: (1) meningkatkan keporosan struktur dalaman sekam padi terolah, (2) meningkatkan kandungan karbon dan (3) meningkatkan luas permukaan yang bertindak sebagai tapak penjerapan.

Jadual 1.2: Komposisi sekam padi (Chuah *et al.*, 2005).

Komposisi	Peratusan (%)
Selulosa	32.24
Hemiselulosa	21.34
Lignin	21.44
Bahan pencemar lain	1.82
Air	8.11
Abu mineral	15.05

Jadual 1.3: Komposisi kimia dalam abu mineral (Chuah *et al.*, 2005).

Komposisi	Peratusan (%)
SiO <sub>2</sub>	96.34
K <sub>2</sub> O	2.31
MgO	0.45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.41
CaO	0.41
K <sub>2</sub> O	0.08

Sekam padi sebagai bahan buangan pertanian telah digunakan sebagai bahan penjerap yang berkos rendah untuk menjerap logam berat dan bahan pencelup (Chuah *et al.*, 2005). Low & Lee (1997) menyimpulkan bahawa sekam padi yang dikuaternkan dengan NaOH telah berjaya menyingkirkan bahan pencelup *Reactive Blue 2* daripada larutan sintetik dan air buangan dari kilang kain. Penjerapan sekam padi terolah ke atas logam berat turut dikaji oleh Ong *et al.* (2003). Menurut mereka, sekam padi terolah (ARH) berupaya menggantikan karbon teraktif komersial sebagai bahan penjerap untuk menyingkirkan Cu(II). Mereka mengolah sekam padi dengan asid nitrik pekat pada suhu 60-65 °C selama 15 jam. Keputusan kajian menunjukkan kecekapan penyingkiran Cu(II) dan COD masing-masing adalah 90 dan 85 % dengan 1 g PAC/kitaran manakala penambahan 5 g ARH/kitaran pula berjaya menyingkirkan Cu(II) dan COD masing-masing sebanyak 85 dan 92 %. Lee & Lim (2003) pula mengkaji pengolahan sebatian fenolik dengan menggunakan sekam padi terolah. Sekam padi yang terolah melalui pirolisis pada 600 °C selama 5 jam dalam atmosfera nitrogen berupaya menyingkirkan fenol dan akilfenol dalam air buangan.

#### Abu Sekam Padi

Sekam padi mengandungi sebanyak 15.05 % abu mineral. Abu mineral pula terdiri daripada 96.34 % silika dengan keporosan dan luas permukaan yang tinggi serta ringan. Abu sekam padi biasanya merujuk kepada pelbagai jenis abu yang terhasil daripada pembakaran (juga dikenali sebagai pengaktifan terma) sekam padi. Jenis abu sekam padi yang terhasil amat bergantung kepada cara pengaktifannya. Parameter suhu dan masa pengaktifan dapat mengubah struktur silika dalam abu mineral sekam padi. Abu yang bersifat amorfus terbentuk pada suhu pembakaran 550-800 °C. Di samping itu, cara pembakaran sekam padi turut memainkan peranan penting dalam menentukan kandungan karbon dalam abu sekam padi.

Kajian telah dilaporkan mengenai abu sekam padi dalam pelbagai penggunaan termasuk digunakan sebagai bahan penjerap (Nakbanpote *et al.*, 2000; Chou *et al.*, 2001; Feng *et al.*, 2004). Nakbanpote *et al.* (2000) menjalankan kajian terhadap tiga jenis abu sekam padi terhasil melalui pembakaran sekam padi pada suhu 300, 400 dan 500°C. Keputusan beliau menunjukkan bahawa abu sekam padi terhasil pada suhu 300 °C dapat menjerap kompleks  $[\text{Au}(\text{cs}(\text{NH}_2)_2)]^+$  (kompleks emas-tiourea) manakala dua jenis abu sekam padi yang lain menunjukkan kesan negatif ke atas kompleks  $[\text{Au}(\text{cs}(\text{NH}_2)_2)]^+$ . Feng *et al.* (2004) pula mengkaji penggunaan sekam padi dalam penjerapan plumbum dan merkuri. Mereka menyimpulkan bahawa abu sekam padi sesuai dijadikan sebagai bahan penjerap untuk menjerap ion plumbum dan ion merkuri daripada larutan akueusnya. Mereka menyediakan abu sekam padi dengan merendam sekam padi dalam larutan akueus 1 M HCl selama 4 jam. Sekam padi terolah asid kemudian diaktifkan secara terma selama 4 jam pada suhu 700 °C.

### 1.3 Sistem Enapan Teraktif

Sistem enapan teraktif diperkenalkan oleh dua orang penyelidik British yang bernama Edward Arden dan William Lorkett (Irvine *et al.*, 1983). Mereka mencadangkan penggunaan enapan teraktif melalui sistem pengisian-pengeluaran untuk mengolah air buangan mentah. Menurut mereka, tempoh nitrifikasi dapat dikurangkan daripada 5 minggu ke 9 jam dalam reaktor pengudaraan jika organisma tertakung digunakan. Organisma tertakung merupakan organisma yang disimpan selepas efluen terolah dibuang. Ia dikenali sebagai enapan teraktif.

Enapan teraktif sebenarnya merujuk kepada proses biologi. Secara amnya, sistem enapan teraktif terlibat dalam proses biopenguraian bahan organik dalam air buangan. Kultur campuran terdiri daripada pelbagai jenis mikroorganisma di mana ia

boleh dibahagikan kepada jenis *undefined* dan jenis *defined* (Kim *et al.*, 2002). Kim *et al.* (2002) mentakrifkan sistem enapan teraktif sebagai kultur campuran jenis *undefined*, yang berupaya mengoksidakan air buangan di bawah keadaan aerobik. Sistem ini amat biasa digunakan dalam pengolahan air buangan (Martins *et al.*, 2004). Menurut Martins *et al.* (2004), sistem ini terdiri daripada 2 peringkat pengolahan, iaitu peringkat biokimia (tangki pengudaraan) dan peringkat fizikal (klarifier sekunder). Karbon organik, ammonium dan fosfat dalam tangki pengudaraan disingkirkan daripada air buangan oleh enapan teraktif. Pemisahan dan pemendapan enapan teraktif dalam klarifier sekunder dapat menghasilkan efluen yang berkualiti.

Kajian yang berkaitan dengan pencirian dan keberkesanan sistem enapan teraktif semakin berkembang dan dibangunkan. Kecekapan dan keberkesanan sistem enapan teraktif dalam pengolahan nutrien telah dibuktikan oleh Silverstein & Schroeder (1983). Dalam hasil kajian mereka yang bertajuk “Performance of SBR Activated Sludge Processes with Nitrification/Denitrification” menyimpulkan bahawa sistem reaktor kelompok berturutan berjaya menyingkirkan karbon organik, nitrogen dan pepejal terampai daripada air buangan. Sebanyak 75 % bahan organik dapat disingkirkan dalam keadaan tanpa pengudaraan. Jeon & Park (2000) pula mengkaji penyingkiran fosforus melalui sistem reaktor kelompok berturutan dengan glukosa sebagai bekalan karbon. Mereka melaporkan proses penyingkiran fosforus dilakukan oleh sekurang-kurangnya dua jenis mikroorganisma iaitu organisma pembentuk asid laktik (LPO) dan organisma pengumpul polifosfat (PAO).

#### **1.4 Sistem Reaktor Kelompok Berturutan (SBR)**

Sistem reaktor kelompok berturutan (SBR) berasaskan sistem enapan teraktif melibatkan proses pengisian-pengeluaran air buangan dalam reaktor tunggal. Lebih

daripada satu jenis proses boleh berlaku dalam sistem SBR misalnya proses nitrifikasi dan denitrifikasi untuk penyingkiran nitrogen dalam air buangan. Selain itu, penambahan bahan penjerap dalam sistem SBR turut dilakukan supaya proses penjerapan dan biopenguraian dapat berlaku bersama. Dalam konteks ini, bahan yang terbiourai dioksidakan oleh enapan teraktif manakala bahan yang sukar terbiourai dijerap oleh bahan terjerap. Banyak kajian dibuat untuk mempertingkatkan kecekapan sistem SBR dalam pengolahan air buangan. Oleh itu, pelbagai sistem alternatif yang berasaskan sistem SBR direka dan diubahsuai untuk pengolahan nutrien nitrogen, fosforus, karbon organik dan pepejal terampai.

#### **1.4.1 Perkembangan Sistem SBR**

Sistem enapan teraktif berbekalan air buangan berterusan dan sistem enapan teraktif berlangkah reaktor kelompok berturutan bukan teknologi baru seperti yang disangkakan. Namun, penggunaan sistem SBR yang selanjutnya dalam pengolahan air buangan terbantut pada tahun 1920 (Irvine *et al.*, 1983). Kejadian ini berlaku sebab pengoperasian sistem ini menghadapi banyak kerumitan khasnya apabila diaplikasikan di tapak pengolahan yang berskala besar. Masalah teknikal termasuk penggunaan tenaga pekerja yang ramai dalam pengawasan tempoh operasi yang berbeza serta memerlukan kawalan proses yang rumit dan rapi turut menjadi beban pengoperasian sistem SBR.

Penciptaan alatan teknologi tinggi seperti vial bermotor, vial solenoid, perekod masa automatik, pengesan paras, meter aliran dan alat kawalan proses telah membangkitkan semula penggunaan sistem SBR. Sejak itu, para penyelidik mula mengkaji dan menilai semula penggunaan sistem ini dalam pengolahan air buangan industri dan domestik (Dennis & Irvine, 1979; Irvine & Busch, 1979; Silverstein & Schroeder, 1983; Irvine *et al.*, 1983).

Dennis & Irvine (1979) telah mengkaji strategik pengoperasian yang sesuai untuk proses pengolahan. Mereka telah membuat beberapa kesimpulan tentang sistem SBR, antaranya ialah: (1) perekaan sistem SBR berdasarkan ciri-ciri pemendapan mikroorganisma, (2) ciri-ciri pemendapan berkait rapat dengan nisbah pengisian : tindak balas dalam reaktor, (3) air buangan boleh diolah dalam reaktor sehingga mencapai kualiti efluen yang memuaskan dan (4) sistem SBR boleh dijadikan sebagai pengganti kepada sistem aliran berterusan.

Irvine *et al.* (1983) mendapati bahawa sistem SBR berupaya menjadi sistem alternatif kepada sistem aliran berterusan untuk mengolah air buangan domestik yang mengandungi BOD<sub>5</sub>, pepejal terampai (SS), nitrogen dan fosforus. Efluen NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N boleh dicapai dalam lingkungan 1-2 g/m<sup>3</sup> pada musim panas dan musim sejuk di bawah operasi yang sesuai.

Yu & Gu (1996) pula mengkaji sistem SBR dengan dua mod operasi iaitu sistem dengan pengisian berbekalkan udara dan sistem dengan pengisian tanpa udara. Keberkesanan sistem dinilai berdasarkan kecekapannya untuk menyingkirkan substrat. Keputusan pengolahan menunjukkan apabila fenol < 400 mg/L, sistem dengan pengisian tanpa udara lebih cekap berbanding dengan sistem berbekalkan udara. Sebaliknya, fenol terkumpul dalam sistem semasa pengisian tanpa udara apabila kepekatan fenol > 800 mg/L dan menjejaskan kecekapan pengolahan sistem. Mereka menyimpulkan bahawa strategik pengisian bergantung kepada komposisi air buangan dan kebolehbioraiannya serta kepekatan bahan organik toksik yang hadir dalam air buangan.

### **1.4.2 Pengoperasian Sistem SBR**

Pengoperasian sistem SBR boleh terdiri daripada satu ataupun lebih daripada satu reaktor (Irvine & Busch, 1979). Tetapi, reaktor juga boleh digabungkan sebagai satu reaktor tunggal bergantung kepada strategik pengolahannya. Ia melibatkan lima langkah asas yang dinamakan berdasarkan fungsinya iaitu PENGISIAN, TINDAK BALAS, PEMENDAPAN, PENGELUARAN dan REHAT. Rajah 1.1 menunjukkan gambaran langkah pengoperasian sistem SBR.

#### **(a) PENGISIAN (F)**

Langkah ini merupakan langkah pengisian air buangan ke dalam reaktor melalui pam peristaltik. Kadar aliran influen dikawal oleh alat kawalan kelajuan. Alat pengudaraan boleh dihidupkan, dimatikan ataupun separa pengudaraan di sepanjang langkah ini. Pengudaraan bertujuan untuk membekalkan oksigen terlarut serta membolehkan pengacuaan yang sempurna di antara air buangan dengan enapan teraktif. Selain itu, bahan penjerap bagi proses bergabung penjerapan dan biopenguraian berlangkah SBR dimasukkan ke dalam reaktor dalam langkah ini. Semua langkah PENGISIAN ditamatkan sebelum langkah TINDAK BALAS berlaku.

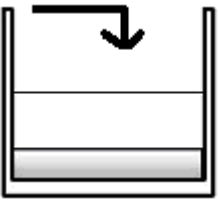

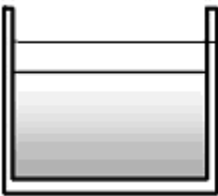
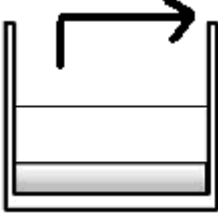
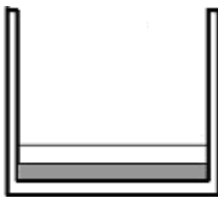
#### **(b) TINDAK BALAS (R)**

Langkah ini bermula selepas tamat langkah PENGISIAN. Air buangan mengalami pengoksidaan secara biologi oleh enapan teraktif dalam reaktor pengudaraan. Udara dibekalkan sepanjang langkah ini. Kualiti efluen yang memuaskan boleh dicapai dengan mengawal masa TINDAK BALAS bergantung kepada jenis air buangan yang diolah.

#### **(c) PEMENDAPAN (S)**

Proses pemendapan bermula sebaik sahaja tamat langkah TINDAK BALAS. Enapan teraktif mula dimendapkan selepas bekalan udara dihentikan. Dua lapisan wujud dalam



	Tujuan	Pengudaraan
 <p>PENGISIAN</p>	Pengisian air buangan dan bahan penjerap	Dihidupkan / dimatikan
 <p>TINDAK BALAS</p>	Tindak balas	Dihidupkan
 <p>PEMENDAPAN</p>	Pemisahan enapan teraktif daripada efluen	Dimatikan
 <p>PENGELUARAN</p>	Pengeluaran efluen	Dimatikan
 <p>REHAT</p>	Keadaan rehat	Dimatikan

Rajah 1.1: Langkah pengoperasian sistem SBR.

reaktor dengan lapisan atas adalah air terolah manakala enapan teraktif berada di lapisan bawah reaktor.

**(d) PENGELUARAN (D)**

Air terolah mula dikeluarkan selepas tamat langkah PEMENDAPAN. Hanya efluen yang berada di lapisan atas dikeluarkan melalui reaktor dengan menggunakan pam peristaltik. Kadar aliran efluen dikawal oleh alat kawalan kelajuan. Isipadu efluen yang dikeluarkan adalah sama dengan isipadu influen yang dimasukkan semasa langkah PENGISIAN. Alat pengudaraan terus dimatikan sepanjang langkah ini.

**(e) REHAT (I)**

Langkah ini boleh dikecualikan bergantung kepada keperluan pengolahan. Enapan teraktif berada dalam keadaan rehat tanpa sebarang proses berlaku sepanjang langkah ini. Selepas langkah ini, satu kitaran telah lengkap berlaku. Masa yang diperlukan untuk selesai kelima-lima langkah operasi ini dinamakan masa kitaran. Selepas tamat satu kitaran, pengulangan kitaran yang baru akan bermula mengikut turutan PENGISIAN, TINDAK BALAS, PEMENDAPAN, PENGELUARAN dan REHAT.

### **1.4.3 Kelebihan Dan Kelemahan Sistem SBR**

Kecekapan dan kefleksibelan sistem SBR menyebabkan sistem ini amat popular digunakan dalam pengolahan air buangan industri dan domestik. Kejayaan sistem SBR dalam pengolahan air buangan terbukti dengan kajian-kajian lepas termasuk pengolahan nutrien (Munch *et al.*, 1996; Kargi & Uygur, 2002; Kargi & Uygur, 2003), bahan pencelup (Lourenco *et al.*, 2001; Ong *et al.*, 2005), logam berat (Ong *et al.*, 2003) dan bahan pencemar organik (Yu & Gu, 1996; Mangat & Elefsiniotis, 1999; Hu *et al.*, 2005a).

Sistem SBR berupaya mengolah nutrien karbon, nitrogen dan fosforus dalam reaktor yang sama. Cara pengoperasian SBR dapat disesuaikan dengan jenis air buangan yang diolah. Pengolahan air buangan yang melibatkan lebih daripada satu proses dapat dicapai dengan hanya mengubah strategik operasinya. Sebagai contoh, penyingkiran nitrogen dapat dilakukan melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi serentak dalam reaktor SBR. Fasa anoksik, anaerobik dan aerobik diaplikasikan dalam penyingkiran nutrien (Surmacz-Gorska *et al.*, 1996). Di samping itu, masalah pertumbuhan bakteria berfilamen yang akan mengakibatkan kenaikan enapan juga dapat dicegah dengan hanya mengubah strategik operasi sistem. Pendek kata, kelenturan sistem ini dapat menjamin kualiti air terolah dan sekali gus mengurangkan kos pengoperasiannya. Kos pembinaan klarifier dan bekalan elektrik dapat dijimatkan apabila alat pengudaraan dimatikan. Tambahan pula, mod operasi sistem boleh diubah secara individu. Walau bagaimanapun, proses tindak balas mikroorganisma dalam reaktor adalah rumit dan masih kurang jelas.

### **1.5 Latar Belakang Tentang Pengolahan Sebatian Fenolik Berlangkah SBR**

Sebatian fenolik, contohnya, fenol, nitrofenol, klorofenol, pentaklorofenol, alkilfenol dan sebagainya merupakan bahan organik toksik yang perlu disingkirkan daripada air buangan sebelum disalurkan ke dalam air penerima. Antara sebatian fenolik ini, terdapat yang senang terbiourai dan yang sukar terbiourai.

Proses biopenguraian sebatian fenolik telah dikaji secara meluas kerana proses pengolahan secara biologi merupakan kaedah pengolahan yang berkos rendah dengan penggunaan sistem enapan teraktif. Tetapi, kajian pengolahan air buangan yang mengandungi sebatian fenolik berlangkah SBR amatlah terhad (Yu & Gu, 1996; Tomei *et al.*, 2003; Tomei *et al.*, 2004; Sahinkaya & Dilek, 2006).

Tomei *et al.* (2003) menjalankan kajian kinetik biopenguraian PNP berlangkah SBR dengan menggunakan kultur campuran teraklimatisasi. Benih enapan diambil dari loji pengolahan air buangan dan dikultur dengan pertambahan beban PNP secara beransuran. Mereka mengesahkan bahawa sistem SBR sesuai digunakan untuk mempertingkatkan potensi mikroorganisma dalam penguraian PNP berdasarkan keputusan yang diperolehi: (1) kadar penyingkiran PNP yang tinggi, (2) masa aklimatisasi yang singkat dan (3) proses pemendapan yang baik.

Kajian tentang pengolahan PNP berlangkah SBR yang selanjutnya dilakukan oleh Tomei *et al.* (2004). Mereka mengkaji kinetik biopenguraian PNP dalam sistem SBR dengan berbekalkan PNP sebagai bekalan makanan dan tenaga. Selain daripada kinetik biopenguraian PNP, kesan masa pengisian ke atas kecekapan sistem turut dikaji. Keputusan kajian menunjukkan data kinetik mematuhi persamaan Haldane dengan pemalar ketepuan,  $k_s$  dan pemalar perencatan,  $k_i$  masing-masing bernilai 17.6 dan 30.7 mg/L PNP, sedangkan kadar penyingkiran maksimum adalah dalam lingkungan 3.3-8.4 mgPNP mgVSS<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>.

Sistem SBR memang cekap dalam pengolahan sesetengah bahan pencemar yang senang terbiourai. Tetapi, pengolahan secara biologi sahaja menjadi kurang berkesan apabila muatan kekuatan influen dan ketoksikan adalah terlalu tinggi.

## **1.6 Proses Biopenguraian**

### **1.6.1 Mikroorganisma Terlibat Dalam Proses Biopenguraian**

Mikroorganisma berupaya mengurai bahan organik semulajadi atau buatan melalui proses metabolisme. Biopenguraian merujuk kepada proses penguraian bahan organik kepada karbon dioksida, air, bahan tak organik dan sel protein. Proses biopenguraian dirangsang oleh enzim yang dirembes oleh mikroorganisma. Secara

umumnya, satu enzim bertindak spesifik terhadap satu substrat. Jadi, pelbagai jenis enzim diperlukan untuk proses penguraian yang lengkap.

Di alam semulajadi, sebatian organik tidak semestinya lengkap terbiourai kepada sebatian organik ringkas. Sebaliknya, ia diuraikan kepada bahan perantaraan yang mungkin kurang, sama, atau lebih toksik dan bahaya daripada sebatian organik asal.

Biopenguraian berlaku dengan proses pemindahan elektron. Elektron disingkirkan daripada substrat organik untuk memperoleh tenaga yang dijana melalui proses pengoksidaan. Elektron dipindah melalui rantai pemindahan elektron (laluan metabolik) sehingga ke terminal penerima elektron (*terminal electron acceptor*). Sebilangan besar populasi mikroorganisma bergantung kepada unsur oksigen sebagai terminal penerima elektron dalam proses metabolisme. Kekurangan oksigen akan mengakibatkan perubahan aktiviti dan komposisi populasi mikroorganisma. Oleh itu, proses biopenguraian berupaya berlaku dalam keadaan aerobik dan anaerobik. Tetapi, biopenguraian aerobik dijangka lebih berkesan jika dibandingkan dengan biopenguraian anaerobik.

Kebanyakan bahan organik senang diurai di bawah keadaan aerobik. Dalam metabolisme aerobik, oksigen bertindak sebagai terminal penerima elektron. Oleh itu, kadar biopenguraian bergantung kepada kadar pembekalan oksigen atau nutrien. Hasil akhir biopenguraian aerobik adalah karbon dioksida dan air. Sebaliknya, bahan organik juga boleh diuraikan dalam keadaan anaerobik tetapi dengan kadar yang agak lambat. Bahan organik ringkas seperti asid organik dan hasil sampingan contohnya gas hidrogen merupakan hasil daripada biopenguraian anaerobik.

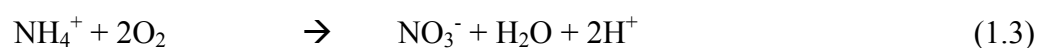
### 1.6.2 Proses Nitrifikasi Dalam Enapan Teraktif

Kandungan nitrogen dalam air minuman dan air buangan perlu dikawal demi menjaga kesihatan dan kehidupan air (Reed *et al.*, 1995). Nitrogen muncul dalam air buangan dalam pelbagai bentuk umpamanya  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , dan  $\text{NO}_2^-$ . Kepekatan nitrogen dalam air buangan adalah  $>15$  mg/L. Lebih kurang 60 % daripadanya wujud sebagai ammonia.

Nitrifikasi ialah proses penguraian sebatian nitrogen. Proses ini terdiri daripada dua langkah tindak balas iaitu ion ammonium dioksidakan kepada nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) dan kemudian nitrit dioksidakan kepada nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) (Ossenbruggen *et al.*, 1996). Nitrit merupakan bahan perantaraan yang toksik dalam proses nitrifikasi (Surmacz-Gorska *et al.*, 1996). Secara umumnya, persamaan tindak balas nitrifikasi adalah seperti berikut (Wang & Yang, 2004; Khin & Annachhatre, 2004; Cui *et al.*, 2005; Chen *et al.*, 2006):



Persamaan keseluruhan ialah:



Nitrogen dalam air buangan berjaya disingkirkan melalui pengolahan biologi (Gapes *et al.*, 2003). Dua populasi organisma yang terlibat dalam proses nitrifikasi ialah *Nitrosomonas* (mengoksidakan  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  kepada  $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ) dan *Nitrobacter* (mengoksidakan  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  kepada  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) (Surmacz-Gorska *et al.*, 1996). Mikroorganisma ini juga dikenali sebagai *Nitrifier* atau *Nitrifying bacteria*. Tenaga yang dijana melalui proses nitrifikasi digunakan oleh mikroorganisma dalam proses pertumbuhan sel (Chen *et al.*, 2005).

Nitrifikasi berlaku dalam keadaan aerobik iaitu dengan kehadiran oksigen. Nilai pH optimum untuk pertumbuhan *Nitrifying bacteria* adalah di antara 8-9. Masa tindak balas nitrifikasi dalam sistem SBR perlu dikawal untuk mencegah masalah pemendapan enapan.

### **1.6.3 Sumber Dan Peranan Karbon Organik Terhadap Enapan**

Mikroorganisma memerlukan nutrien untuk pertumbuhan. Lebih kurang 80-90 % daripada berat mikroorganisma terdiri daripada cecair dan selebihnya ialah berat kering. Mikroorganisma memerlukan beberapa mineral utama seperti karbon, oksigen, hidrogen, nitrogen, sulfur, fosforus, kalium, magnesium, kalsium dan ferum untuk pertumbuhan yang optimum.

Mikroorganisma autotrof berkebolehan untuk mensintesis sendiri kesemua sebatian organik dan seterusnya berkemampuan untuk membuat makanan sendiri. Sebaliknya, mikroorganisma heterotrof adalah kumpulan mikroorganisma yang memperoleh makanan daripada sebatian-sebatian organik yang dihasilkan oleh hidupan lain. Heterotrof tidak berupaya untuk mensintesis metabolit-metabolit asasnya sendiri dan dengan yang demikian ia memerlukan bekalan karbon daripada molekul organik lain. Kebanyakan bakteria memperoleh tenaga, sumber elektron dan karbon daripada sebatian organik.

Substrat terbiourai (*biogenic substrate*) contohnya glukosa, sukrosa dan pepton merupakan sumber karbon organik. Karbon organik memainkan peranan penting dalam metabolisme sel. Dengan ini, kehadiran sumber karbon dijangka dapat mempengaruhi keberkesanan sistem enapan teraktif dalam pengolahan air buangan. Ramai penyelidik mula mengkaji kesan bekalan substrat karbon dalam sistem SBR (Jeon & Park, 2000; Kargi & Uygur, 2003; Tomei *et al.*, 2003; Hu *et al.*, 2005b; Sahinkaya & Dilek, 2006).

Kargi & Uygur (2003) melaporkan kesan sumber karbon ke atas penyingkiran nutrien dalam sistem SBR. Glukosa, asetat dan campuran glukosa/asetat digunakan sebagai sumber karbon yang membekalkan nisbah COD/N/P dengan 100/5/105 dalam air buangan sintetik. Pengoperasian sistem SBR terdiri daripada fasa anaerobik, anosik, osik, anosik dan osik dengan masa kitaran 2/1/4.5/1.5/1.5 jam. Keputusan kajian menunjukkan kecekapan penyingkiran COD,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  masing-masing mencapai 96 , 87 , 81 dan 90 % apabila glukosa dan asetat digunakan sebagai sumber karbon.

Tomei *et al.* (2003) telah mengkaji kinetik biopenguraian PNP berlangkah SBR dengan menggunakan campuran teraklimatisasi. Mereka menjalankan kajian kinetik untuk membandingkan pertumbuhan biojisim dengan berbekalkan PNP sebagai sumber karbon dengan campuran substrat (PNP + sodium asetat + pepton) sebagai sumber karbon. Mereka menyimpulkan bahawa keupayaan biojisim untuk mengurai PNP dapat dipertingkatkan dengan meningkatkan nisbah antara PNP dan substrat terbiourai dalam air buangan sintetik.

Selain daripada kajian yang terhurai di atas, Kulkarni & Chaudhari (2006) turut menjalankan kajian biopenguraian PNP dengan *P. putida*. Mereka berpendapat bahawa *P. putida* berupaya menguraikan PNP yang bertindak sebagai sumber karbon, nitrogen dan tenaga.

Kesimpulannya, sumber karbon organik mampu membawa kesan positif mahupun negatif terhadap penyingkiran nutrien dalam sistem SBR. Justeru, penyelidikan ini telah membandingkan sistem SBR yang berbekalkan PNP sebagai sumber karbon dengan sistem SBR yang berbekalkan campuran substrat (PNP, sukrosa dan bakteopepton) sebagai sumber karbon dalam pengolahan air buangan yang mengandungi PNP.